

Architectural Design and History

Geomatica e HBIM per i Beni Culturali

a cura di
Andrea Adami

FrancoAngeli

Architectural Design and History

La Collana *Architectural Design and History* intende esplorare le relazioni tra il progetto di architettura e la città contemporanea, in particolare dove la trasformazione urbana si confronta con la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico. Attraversando diverse teorie, tecniche e pratiche, i contributi indagano l'identità complessa della cultura architettonica, avviano connessioni e scambi tra le discipline, e promuovono una concezione strategica e evolutiva del patrimonio architettonico. La Collana è promossa dal Polo Territoriale di Mantova del Politecnico di Milano, sede della Cattedra UNESCO in *Architectural Preservation and Planning in World Heritage Cities*. Tutti i volumi pubblicati sono sottoposti a revisione con garanzia di terzietà, gestita dal Comitato Scientifico attraverso la collaborazione di *referee* esterni altamente qualificati.

Comitato Scientifico

Federico Bucci (Politecnico di Milano, Polo Territoriale di Mantova, Italia)
Ángela García de Paredes (Universidad Politécnica de Madrid, Spagna)
Jean-Philippe Garric (Université Paris-1, Francia)
Jian Long Zhang (Tongji University, Cina)
Guillermo Aranda Mena (Royal Melbourne Institute of Technology, Australia)
Quintus Miller (Università della Svizzera Italiana, Svizzera)
Eduardo Souto de Moura (Politecnico di Milano, Polo Territoriale di Mantova, Italia)
Ana Tostões (Universidade Técnica de Lisboa, Portogallo)
Elisa Valero Ramos (Universidad de Granada, Spagna)
Yael Moria (Shenkar College, Israele)
George Zillante (University of Adelaide, Australia)

Architectural Design and History

Geomatica e HBIM per i Beni Culturali

a cura di
Andrea Adami

FrancoAngeli

Geomatica e HBIM per i Beni Culturali
Andrea Adami

Coordinamento redazionale
Elena Montanari

Progetto grafico
Tassinari/Vetta

Copyright © 2021 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Ristampa	Anno
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sui diritti d'autore. Sono vietate e sanzionate (se non espressamente autorizzate) la riproduzione in ogni modo e forma (comprese le fotocopie, la scansione, la memorizzazione elettronica) e la comunicazione (ivi inclusi a titolo esemplificativo ma non esaustivo: la distribuzione, l'adattamento, la traduzione e la rielaborazione, anche a mezzo di canali digitali interattivi e con qualsiasi modalità attualmente nota od in futuro sviluppata).

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale, possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali (www.clearedi.org; e-mail autorizzazioni@clearedi.org).

Stampa: Logo srl, sede legale: Via Marco Polo 8, 35010 Borgoricco (Pd).

8	Patrimonio costruito e BIM Luigi Fregonese	140	<i>BIMexplorer:</i> un web-based tool per l'esplorazione semantica dei modelli BIM Roberto Pierdicca, Ramona Quattrini, Eva Savina Malinverni, Christian Morbidoni
14	BIM per il Duomo di Milano Francesco Fassi	152	Casi reali di utilizzo del BIM nel restauro Antonio Salzano
34	HBIM per i grandi complessi architettonici Andrea Adami	164	Applicazione HBIM per la conservazione programmata dei paramenti del Cortile della Cavallerizza Barbara Scala
62	Integrazione tra BIM e GIS nel caso dei rilievi e delle verifiche delle infrastrutture Luigi Barazzetti	186	Condivisione delle informazioni e dei dati nel processo di digitalizzazione dei Beni Culturali Cinzia Tommasi
76	Integrazione tra sistemi di SLAM-based mobile mapping e immagini per attività di facility management Stefano Cantoni	196	<i>Lessons learned</i> e prospettive future per BIM e HBIM da una prospettiva geomatica Mattia Previtali
88	La fruizione dei dati da modelli HBIM Francesca Matrone, Raffaella Stano	210	Nuovi requisiti generativi Scan-to-BIM Fabrizio Banfi
106	Ottimizzazione della metodologia HBIM applicata al progetto di restauro architettonico Lorenza Ori	230	Autori
124	Una nuova proposta per la progettazione del database in ambito HBIM Nazarena Bruno		

Applicazione HBIM per la conservazione programmata dei paramenti del Cortile della Cavallerizza

Barbara Scala

Il Cortile della Cavallerizza a Palazzo Ducale di Mantova

La conservazione programmata costituisce una strategia che ha come scopo, a medio e lungo termine, la tutela e la valorizzazione dei Beni Culturali attraverso una gestione pianificata, nella piena consapevolezza dell'obiettivo da raggiungere, sia in termini di gestione dell'oggetto sia nella qualità dell'intervento conservativo. In altri termini, il Bene Culturale è considerato a trecentosessanta gradi: la strategia di conservazione non si limita al progetto di restauro (un processo con un inizio e una fine), bensì considera il percorso in cui sono coinvolti tutti i settori e gli attori che con esso possono interagire (sia in positivo che in negativo), in modo da garantire la massima tutela.

Questo tipo di approccio ai Beni Culturali, fortemente innovativo, introduce un concetto fino ad ora estraneo all'architettura storica, il *management* — garanzia di una corretta gestione del costruito, tramite *facility management*, manutenzione e valorizzazione. Il recupero della cultura gestionale, affiancata alla consapevolezza dei valori economici di cui un Bene storico è portatore, sono aspetti che fissano un punto importante: la qualità del progetto. Un progetto di conservazione concepito con qualità produce una quantità di informazioni (anche di rilevanza pratica) che è necessario non disperdere, mantenendole «vive» e disponibili per le successive decisioni nella gestione dell'edificio.

Le esigenze che il nuovo approccio al costruito storico hanno messo in luce trovano nel BIM (*Building Information Modeling*) lo strumento che ha in sé le caratteristiche per consentire il consolidamento di una base dati e la possibilità di ritrovare le informazioni entrate nel processo che ha riguardato l'edificio. Il modello articolato per elementi tecnologici deve diventare il supporto sia del progetto sia delle attività di conservazione nel tempo; la rappresentazione in tre dimensioni asseconda l'immediatezza della lettura dell'elaborato, per ogni attore che entra in relazione con l'edificio.

Se da un lato facilita l'interoperabilità tra i diversi settori che interagiscono nel costruito esistente, il BIM — nato per la nuova architettura — mostra dei limiti riguardo la costruzione del modello. Infatti, l'architettura storica è espressione di geometrie complesse, caratterizzate ognuna dalla propria singolarità; l'informazione dell'unicità di ogni geometria è anch'essa un dato da conservare.

La sperimentazione sviluppata nel Cortile della Cavallerizza di Palazzo Ducale di Mantova vuole contribuire a capire quali siano le potenzialità del programma BIM e, in relazione alla tipologia di informazioni già a disposizione e implementabili nel tempo, individuare le caratteristiche del modello da elaborare.

L'occasione del progetto

Con il D.M. 23/12/2014 («Decreto Musei»), il Complesso Museale di Palazzo Ducale di Mantova è stato individuato tra i musei nazionali dotati di autonomia. Questa disponibilità economica ha attivato un processo di riorganizzazione delle funzioni museali, ma soprattutto della gestione degli interventi sul patrimonio architettonico del palazzo. I fondi del programma ministeriale FSC 2014-2020 hanno, tra i vari obiettivi, quello di attivare processi di conservazione e valorizzazione all'interno di un percorso metodologico di tipo manageriale, in modo da comprendere le trasformazioni e gli interventi eseguiti, per la futura gestione e la fruizione compatibile e sostenibile del complesso.

I progetti di restauro degli ultimi trent'anni sul palazzo sono stati occasionali e privi di una programmazione, tanto che ora siamo di fronte ad una storia conservativa fortemente disomogenea. Di questi limiti è dimostrazione la stessa fabbrica: sono stati eseguiti interventi dettati dall'urgenza, limitati ad ambiti puntuali e parziali, in cui gli investimenti per la conoscenza preventiva e l'archiviazione dei dati sono stati scarsi.

Le risorse economiche messe a disposizione dal Ministero hanno acceso un nuovo interesse verso la possibilità di introdurre un sistema gestionale BIM da utilizzare nei prossimi interventi di conservazione. In tale scenario si delinea un terreno di confronto tra le istanze di valorizzazione e di conservazione che, proprio nell'ambito delle nuove strutture museali, può trovare modi e forme di sintesi e di reciproco rafforzamento.

Il complesso di Palazzo Ducale di Mantova

Palazzo Ducale presenta un'ampia stratificazione storico-architettonica, fortemente connessa alla vita della città¹. I primi edifici di questo complesso furono fabbricati nel 1300 dalla famiglia Bo-

nacolsi. Essi lasciarono il posto nel 1328 ai Gonzaga, che salirono al potere in veste di Capitani del Popolo, Marchesi, e in seguito Duchi. I Gonzaga abitarono Mantova promuovendone la cultura con l'apporto di importanti architetti e pittori che esprimevano la loro arte all'interno del Palazzo. Da perfetti mecenati, i Gonzaga ampliarono sempre più le attività della corte ducale, rendendo Mantova celebre in Europa.

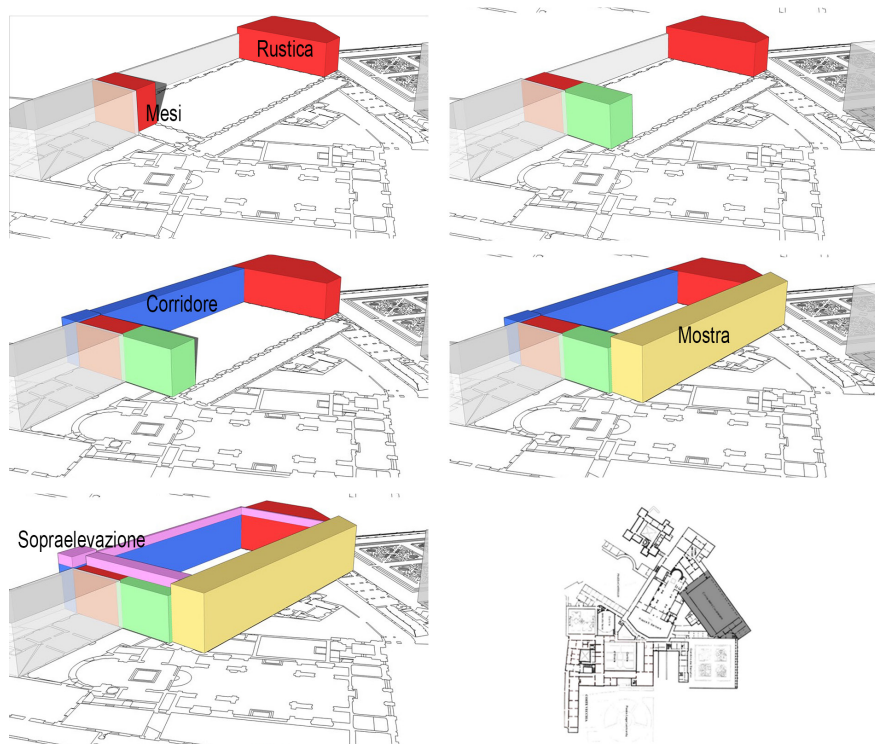
A partire dal 1600 per la famiglia iniziò un lento declino. Il passaggio avvenuto nel 1630 del ducato al ramo dei Gonzaga-Nevers non fu sufficiente a salvare il destino del palazzo e della città, che fu sottoposta nel medesimo anno al sacco dei Lanzichenecchi e alla peste. I Gonzaga-Nevers tentarono di risollevare la città, ma nel 1707, fuggito l'ultimo erede, l'Impero Austriaco si impossessò del ducato.

Mantova divenne nuovamente teatro di continue guerre di conquista tra francesi e austriaci, che la trasformarono in un avamposto militare. Con l'avvento del Regno d'Italia, Mantova divenne comune libero e Palazzo Ducale, da magazzino merci e uffici di amministrazione, quale era stato convertito, ritrovò dignità, ricondotto a museo della città.

Situato all'interno della prima cinta muraria, il Palazzo Ducale è articolato in numerosi nuclei. La sua parte più antica (Palazzo del Capitano e la *Magna Domus*) venne ampliata, accorpando fabbricati pre-esistenti situati nel retrostante quartiere detto «degli Scaglioni»².

L'ottima politica militare e la diplomazia dimostrata da Ludovico I^o e Francesco I garantirono al ducato un ruolo strategico anche in ambito culturale. Alla Corte Vecchia fu data una veste più unitaria e compatta per volontà di Gianfrancesco. Tale politica continuò con Ludovico II, che ebbe il merito di aver portato a Mantova grandi artisti del calibro di Leon Battista Alberti, Luca Fancelli e Andrea Mantegna.

Sotto il ducato di Federico II si avviarono grandi lavori in Castello e Corte Nuova; dal 1524, sotto la guida di Giulio Romano, venne realizzata la Palazzina della Paleologa. All'opera di Giulio Romano si deve anche la costruzione dell'Appartamento di Troia in Corte Nuova, nato dall'accorpamento di costruzioni preesistenti, arricchito con stanze decorate e da un giardino pensile⁴. A Guglielmo Gonzaga è legato il ridisegno degli spazi e la connessione tra loro di alcuni appartamenti del Palazzo, mantenendo come fulcro la Basilica palatina di Santa Barbara, la realizzazione del «Prato della Mostra» (attualmente denominato «Giardino della Cavallerizza»), a partire dal primo nucleo della Rusti-



ca, oltre ad altre opere in Corte Nuova. Guglielmo lasciò un organismo edilizio unitario, costituito da appartamenti e ambiti che avevano una loro identità e autonomia, pur nella complessità della struttura.

Attualmente Palazzo Ducale occupa un'area di circa 34.000 mq; aspetto non secondario è l'uso a museo, che ha aperto e apre una serie di complessità gestionali affiancate a quelle riguardanti il governo della fabbrica edilizia.

A partire dagli anni Ottanta dell'Ottocento si articolano una serie di «campagne di restauro e di opere di trasformazione»⁵ in diversi ambiti del Palazzo, dalle coperture alle superfici interne ed esterne alle fondazioni; questi lavori aprirono problematici rapporti con le Amministrazioni e gli Enti locali e nazionali sull'uso di alcuni spazi. A titolo di esempio, significativa fu l'esecuzione di lavori di adeguamento nello spazio della Cavallerizza (con lo scopo di realizzare la «scuola di maneggio» dei cavalli e cavalieri in forza allo squadrone Cavalleria,

¹ Ipotesi delle fasi costruttive del Cortile della Cavallerizza con planimetria schematica dell'interno di Palazzo Ducale.

insediato nell'Appartamento della Rustica), voluti dal Ministero della Guerra nell'agosto del 1895.

Il Cortile della Cavallerizza o della Mostra

Il Cortile della Cavallerizza ² era destinato alla esibizione dei cavalli dei Gonzaga. Nonostante l'apparente unità costruttiva e decorativa, venne realizzato per parti successive. In una prima fase vengono realizzati i due lati minori del cortile, da Giulio Romano. Da un lato è collocata la Loggia dei Mesi, dall'altra parte la Rustica.

Al 1556 risulta realizzato il braccio di collegamento fra le due fabbriche — quello verso il lago, per opera del Bertani, probabilmente su progetto di Giulio Romano. Il Bertani assecondava molto l'idea di realizzare una architettura dipinta, come testimoniano i lacerti di finto bugnato emergenti nella Loggia dei Mesi.

A partire dal 1866 si ha a disposizione una documentazione di maggior precisione sullo stato conservativo della Cavallerizza, grazie alla presenza di Achille Patricolo, curatore del Palazzo⁶.



² Interno del Cortile della Cavallerizza; sullo sfondo, la Basilica di Santa Barbara e il Castello di San Giorgio.



Dai carteggi emerge come il tema dell'acqua costituisse un problema importante, tanto da rendere necessario il restauro della cornice di coronamento esterna della galleria, parzialmente caduta a seguito dei danni dovuti a varie infiltrazioni: le porzioni di decorazione risarcite furono realizzate con materiali già presenti nei depositi del Palazzo, assemblati con cemento. Nonostante l'attenzione e la volontà di rioridino della gestione del Palazzo promossa da Patricolo, nel 1908 il Cortile della Mostra è utilizzato come campo da tennis, con le conseguenti ripercussioni negative di tale uso improprio.

Nelle numerose perizie presenti presso l'Archivio Centrale dello Stato su Palazzo Ducale, alcune riguardano anche la Cavallerizza, e vi si attesta la disponibilità di fondi per i lavori di restauro. Queste perizie, seppur approvate, si attuarono solo parzialmente a causa dello scoppio della Prima Guerra Mondiale, che fermò gran parte dei lavori.

I tentativi di dare continuità alla manutenzione furono ostacolati dagli eventi più che dalla volontà dei responsabili: da un lato assistiamo al meticoloso impegno nel restauro dei diciassette poggiali in ferro battuto della Galleria della Mostra e del Corridore verso il lago (di cui due vengono completamente ricostruiti), dall'altra ad ordini di interventi sempre sollecitati da urgenze improvvise.

Un utile bilancio sullo stato conservativo del Cortile della Cavallerizza lo offre Alfredo Barbacci (responsabile dal 1936 al 1939), che

racconta delle condizioni conservative precarie a causa del suo uso ad orto. In particolare, Barbacci sottolinea come la plasticità del bugnato fosse fortemente compromessa ed i colori pressoché illeggibili.

Un primo cantiere guidato da Barbacci iniziò nel 1936 e riguardava il lato della Rustica. Di interesse sono le sue osservazioni che denotano come gli ornati plastici fossero ancora presenti ma distaccati dal supporto murario⁷. La scelta operativa proposta da Barbacci fu quella di consolidarli mediante iniezioni di «malta liquida», mentre intonaci e bugnati mancanti furono reintegrati ad imitazione degli originali (dando loro il sapore degli antichi). Solo per le colonne tortili Barbacci propose un approccio non imitativo: infatti i torciglioni, simulanti i tralci di vite, non furono riproposti ma la superficie venne conservata liscia. Interessante è la definizione con cui specifica la modalità operativa utilizzata, ovvero «con la tecnica antica, l'incrostazione di calce caduta o disgregata».

Colonna tortile

L'intervento proseguì sul fronte della Galleria dei Mesi, in cui i basamenti delle semicolonne centrali furono ricostruiti così come i piedistalli dei davanzali delle finestre centrali. Barbacci eliminò i gradini posti in corrispondenza delle porte-finestre lungo il lato della Galleria, di cui erano state già ripristinate le ringhiere in ferro. L'ultimo atto del cantiere «unitario» (ovvero gestito con stessi criteri di intervento) si svolge fra il 1937 e il 1938, e riguarda il corridore verso il lago. Le tamponature del piano terreno furono demolite e le nuove inferriate collocate sulla base degli antichi alloggi per la ferramenta nella muratura. Anche questo lato fu ripreso nelle bugne, «che si riferirono con esattezza» agli intonaci persi al primo ordine, mentre furono integrati i restanti superiormente.

Barbacci parla anche dei colori, rimasti nei toni originali all'interno delle connessioni del bugnato — gialli, rossi e grigi, abbastanza smorzati.

Bisogna aspettare gli anni Ottanta del Novecento per avere nuovi interventi sulle superfici esterne, con progetti redatti dalla Soprintendenza di Brescia, competente per territorio.

Purtroppo, dalle perizie conservate in archivio, non sempre si individua un'area di intervento precisa; inoltre, quando la perizia è

³ Cortile della Cavallerizza, prima dell'eliminazione delle colture orticole (Mantova, ASopMn, Archivio Fotografico).

In particolare, la voce di perizia descrive «consolidamento generale degli intonaci tramite Primal AC-33 diluito in acqua demineralizzata... ricostruzione dei bugnati... tramite impasto di calce, inerti e pigmento, la malta come colorazione sarà ottenuta leggermente sotto tono... trattamento protettivo finale tramite idrorepellente».

Un nuovo approccio al progetto di conservazione delle superfici: le potenzialità dell'HBIM

La disponibilità finanziaria, di cui si è fatto cenno in premessa, ha consentito di impostare un progetto con nuovi criteri per le superfici del cortile della Cavallerizza e i fronti verso il lago. La necessità di

avere un quadro di conoscenza completo degli ambienti ha condotto ad una campagna di rilievo complessa, che ha visto l'impiego delle più recenti tecnologie nell'ambito della documentazione del patrimonio. L'acquisizione dei dati è stata realizzata mediante laser scanner e fotogrammetria, con lo scopo di documentare non solo la geometria del complesso ma anche il suo stato di conservazione.

Le acquisizioni fotogrammetriche e laser scanner, condotte in modo autonomo, sono state georeferenziate in un unico sistema di riferimento, definito a partire da un vertice trigonometrico IGM. In questo modo, le nuvole di punti e le scansioni sono georeferenziate in un unico sistema, quindi i dati possono essere mutuamente integrati ed utilizzati. Dai dati così acquisiti e georeferenzati è stato possibile ottenere diversi prodotti.

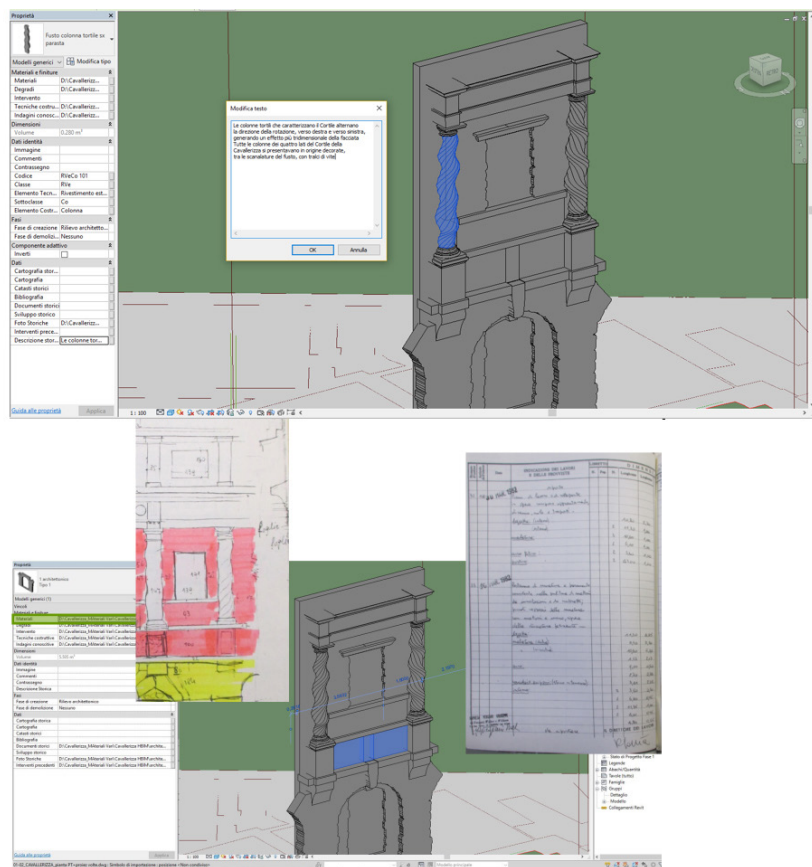
Oltre ai tradizionali disegni bidimensionali (piante, prospetti e sezioni alla scala architettonica 1:50), sono state elaborate anche le ortofoto dei fronti e del cassettonato del «corridore», per favorire quindi non solo la lettura geometrica, ma anche la mappatura dei materiali e dei degradi.

Lo stesso database 3D, costituito da milioni di punti nello spazio, è stato utilizzato anche per la strutturazione di una serie di modelli BIM (grafici e informativi), il cui grado di approfondimento varia a seconda dell'obiettivo a cui gli stessi devono rispondere. Partendo dalla cartografia, sono stati generati il modello di inquadramento e, dal rilievo diretto, fotogrammetrico e laser scanner, quello architettonico e di dettaglio. Tali modelli rispondono a diverse necessità e garantiscono anche diverse precisioni.

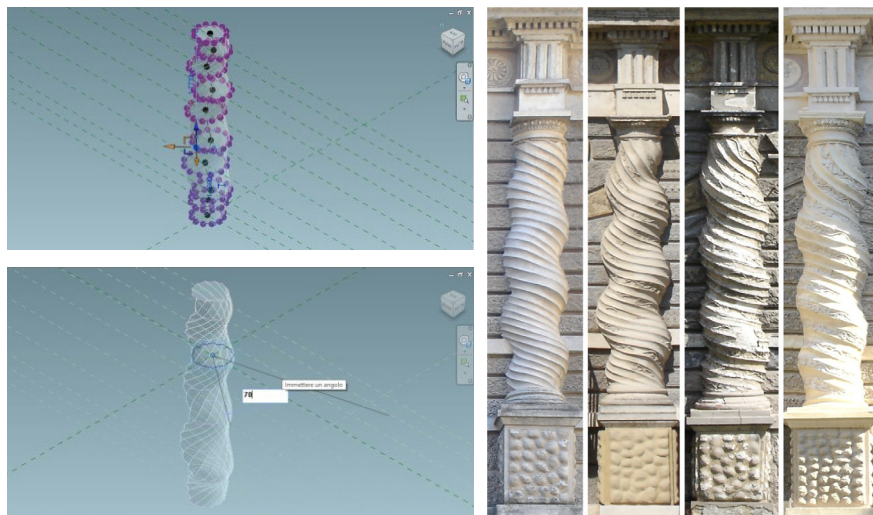
Il modello di inquadramento nasce dalla cartografia in scala 1:2.000, quindi porta con sé una precisione di ± 20 cm. Quella del modello architettonico è circa 2 cm, mentre in quello di dettaglio la precisione è inferiore a 1 cm, corrispondendo ad una scala tradizionale pari a 1:50 (e, per alcuni dettagli, fino a 1:20).

I modelli costituiscono il supporto digitale all'interno del quale si sono inseriti i dati recuperati dalle fonti di archivio disponibili e dalla lettura diretta del manufatto.

Il processo organizzativo proposto prevede un progressivo approfondimento dell'informazione in modo che il supporto di riferimento sia coerente con il significato del dato.



6 Documentazione storica e dei cantieri eseguiti, collegata al modello HBIM architettonico.



Nel modello generale i parametri referenziati riguardano la descrizione storica, la cartografia storica e moderna, i dati ricavati dalla Carta del Rischio, la bibliografia. La raccolta di questo tipo di informazioni è una parte necessaria del progetto; per un corretto contributo alla conoscenza, queste devono essere osservate nella complessità dell'architettura, ovvero riferite, nel nostro caso, all'intero Palazzo. Per esempio, l'informazione riguardante il rischio alluvioni ha offerto significative indicazioni in fase di progetto, poiché i livelli di inondazione sono stati relazionati con le geometrie della zona di studio e con le numerose canalizzazioni sotterranee al Palazzo, che potrebbero entrare in gioco in caso di evento, salvaguardando la Cavallerizza. Inoltre, l'assenza di distribuzione delle acque piovane — causa principale dei danni delle superfici della corte, e perciò parte integrante del progetto locale — ha reso necessario valutare come sfogare in caso di abbondante pioggia il carico meteorico, senza contraccolpi negativi.

Da questo primo livello, si è proseguito alla elaborazione del modello grafico. Questa fase ha reintrodotto un problema riguardante il livello di approfondimento del modello in senso architettonico. In un'esperienza precedente⁸, si è testato come sia necessario raggiungere un livello di dettaglio che è funzionale all'obiettivo progettuale e ai dati a disposizione.

⁷

Creazione della colonna tortile in Revit: ogni colonna ha una sua individualità formale in relazione alla fase costruttiva.

In sequenza: colonna tortile nel fronte Rustica, Galleria della Mostra, Loggiato verso il lago, Galleria dei Marmi.

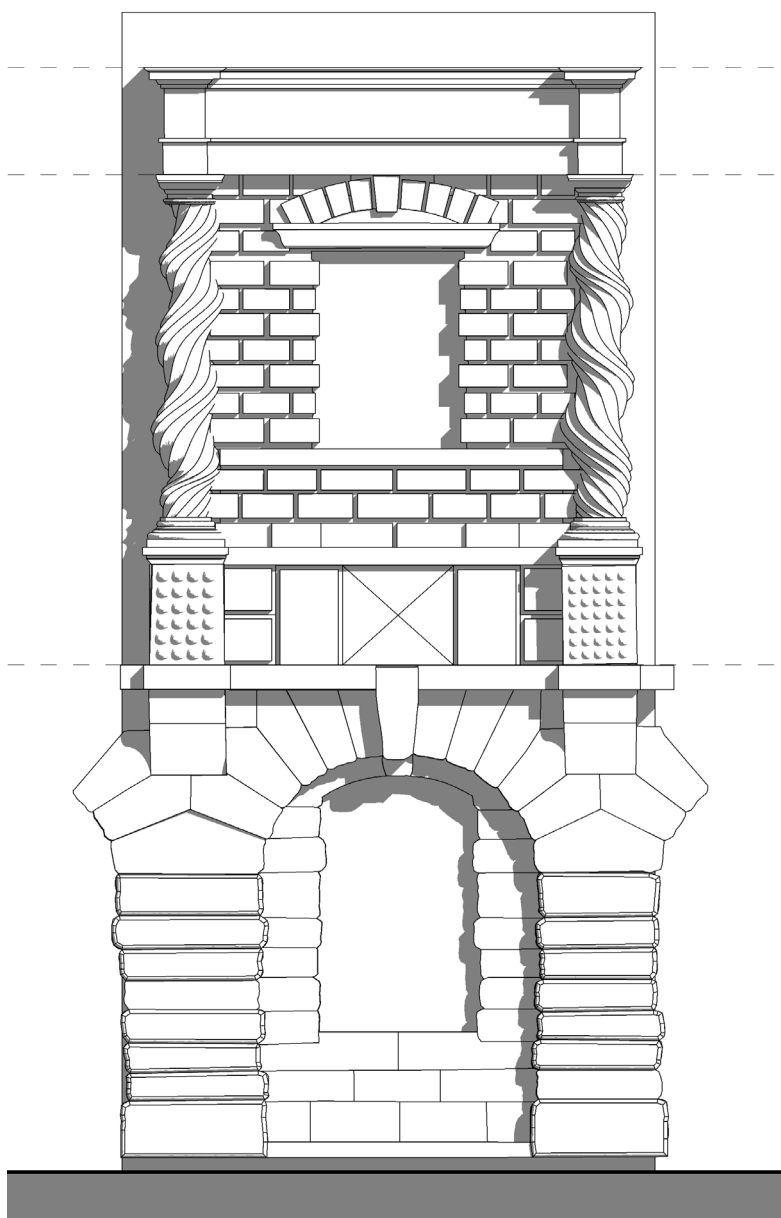
Nel nuovo modello BIM elaborato abbiamo proposto un livello di precisione legato agli elementi tecnologici individuabili nella fabbrica, cui relazionare informazioni di carattere globale all'elemento tecnologico stesso. Questa valutazione, naturalmente, prende origine dal materiale informativo a disposizione, ovvero da come il dato entra nel dettaglio e può essere amplificato o ripetuto. Questo livello di rappresentazione ha assunto un ruolo importante e, ad esso, è stata referenziata la maggior parte dei dati di rilievo e di progetto. In particolare, a questo ordine sono stati facilmente ricondotti i dati materici, le patologie di degrado e la documentazione fotografica e descrittiva dei progetti di recente produzione.

Non secondaria è l'opportunità di confronto con i rilievi geometrici precedenti, il cui grado di dettaglio è limitato, ma che costituiscono un importante supporto operativo poiché sono la base di annotazioni relative a esperienze di cantiere e di contabilità, che riportano quanto è stato eseguito sul manufatto.

È stato il dettaglio cui si è giunti nella progettualità a sollecitare la produzione di un ulteriore modello più raffinato. La disponibilità di indagini chimico-fisiche eseguite nel passato e l'esigenza di compierne di ulteriori (non solo per la conoscenza dei materiali e delle patologie in essere, ma per capire quali materiali utilizzare nella fase di integrazione delle lacune o in sostituzione di prodotti messi in opera, che hanno generato reazioni negative sui materiali originari o comunque storici) ha evidenziato l'opportunità e necessità di localizzare in modo puntuale il dato di indagine. Naturalmente la precisione della localizzazione ha reso necessario studiare il modello nel dettaglio e comprenderne le differenze geometriche, anche su elementi tecnologici simili. Perciò il dato dimensionale ha contribuito alla comprensione delle forme, eterogenee ma analoghe, realizzate dalle numerose maestranze operanti sui fronti della Cavallerizza.

L'ultimo passaggio per il completamento del processo gestionale del manufatto è quello riguardante la conservazione programmata del manufatto. Riprendendo il metodo di individuazione tecnologica degli elementi architettonici ampiamente consolidato⁹, questi sono stati nominati con un'individuazione puntuale ed univoca.

Allo stato attuale non si è ancora valutata la frequenza e tipologia delle ispezioni da attivare, ma si è predisposto il supporto gestionale a



8
Modello BIM (realizzato con Autodesk Revit) di una campata tipo, costruito a partire dalla nuvola di punti.

garanzia della registrazione e condivisione delle operazioni. Il modello BIM architettonico è quello che si è indicato come riferimento per registrare le informazioni e le azioni che saranno eseguite nella gestione del processo conservativo.

Un bilancio degli interventi sulle superfici: disponibilità di tecnologie innovative e strategie di progetto

Come specificato precedentemente, l'eterogeneità e la parzialità degli interventi passati hanno generato una serie di patologie riconducibili a due fattori scatenanti: l'acqua (da capillarità e dalle coperture) e le ricostruzioni cementizie soprattutto nella parte basamentale (più volte rimaneggiata).

Controversa, non solo per gli aspetti estetici in gioco, è la situazione generata dalle scelte colorimetriche compiute in maniera parziale sui diversi fronti (anche limitatamente a porzioni di facciate), in cantieri successivi, apparentemente tutte riconducibili ad un modello comune identificato nello sfondo del ritratto di Francesco III Gonzaga.

La necessità di risolvere le problematiche generate da questi tre aspetti ha dettato le linee progettuali, approvate dagli organi competenti (che saranno preventivamente testate in cantieri pilota), il cui compito è stato quello di individuare processi coerenti tra la situazione ambientale, la materialità del monumento e gli obiettivi conservativi e gestionali prefissati, supportati dalla elaborazione di un modello HBIM.

Dai rilievi effettuati in modo diretto, si è osservato come una buona parte dei basamentali è in cemento. Prevedere la demolizione integrale sulla base della sola presenza di «materiale incompatibile» condurrebbe ad una perdita quantitativamente importante di superfici poi da ripristinare. Molte aree sono testimonianze di processi di restauro storici consapevolmente progettati, e l'azione di demolizione potrebbe danneggiare il substrato in mattoni spesso caratterizzati da lavorazioni superficiali identificative delle fornaci produttrici, o espressione di tecniche costruttive diverse, attribuibili alla volontà degli architetti progettisti della corte.

Dal materiale di archivio a partire dai primi anni del Novecento è emerso come l'uso del cemento fosse una tecnica positiva per le ripa-



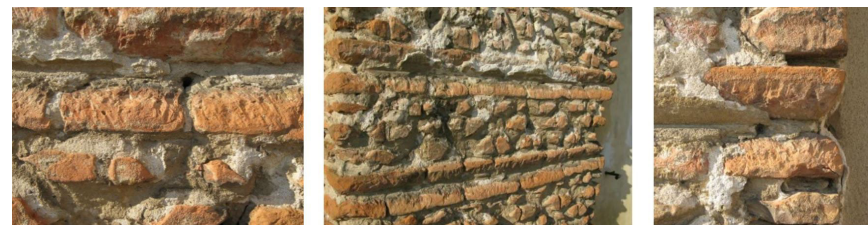
razioni. Esso fu utilizzato sia per l'integrazione di giunti di malta delle murature sia per la ricostruzione delle bugne o per le superfici lisce. Queste aggiunte, che definiremo «consapevoli», sono riconoscibili perché presentano un modellato di qualità e degradi di gravità bassa. Al contrario, riparazioni più recenti apparentemente casuali (stuccature di lacune ma anche rifacimenti di intonaci lisci e bugnati privi di qualità costruttiva) mostrano degradi quali polverizzazione, distacchi ed efflorescenze saline ad un livello di gravità molto alta.

Perciò le operazioni di progetto hanno assecondato la volontà di garantire la conservazione dei materiali originali quando individuati, cercando di comprendere meglio le fasi costruttive (affiancando i dati archivistici a quelli materici con la ricostruzione di ricette) ed individuare soluzioni di compatibilità reciproca tra le integrazioni, al fine di mantenerle, per quanto possibile, in opera.

Rilievo dei materiali della facciata Rustica

Complessa è anche la situazione degli effetti di interventi svolti nel recente passato, di cui abbiamo sia testimonianza nelle perizie di progetto conservate in archivio sia visione sulle superfici. Numerose resine e consolidanti sono stati utilizzati nei cantieri degli anni Ottanta e Novanta del Novecento, iniettati in profondità e/o stesi in superficie

9 Test relativi alla scelta dei colori da utilizzare nei bugnati (a sinistra). Test relativi alla scelta dei colori da utilizzare nei bugnati (a destra).



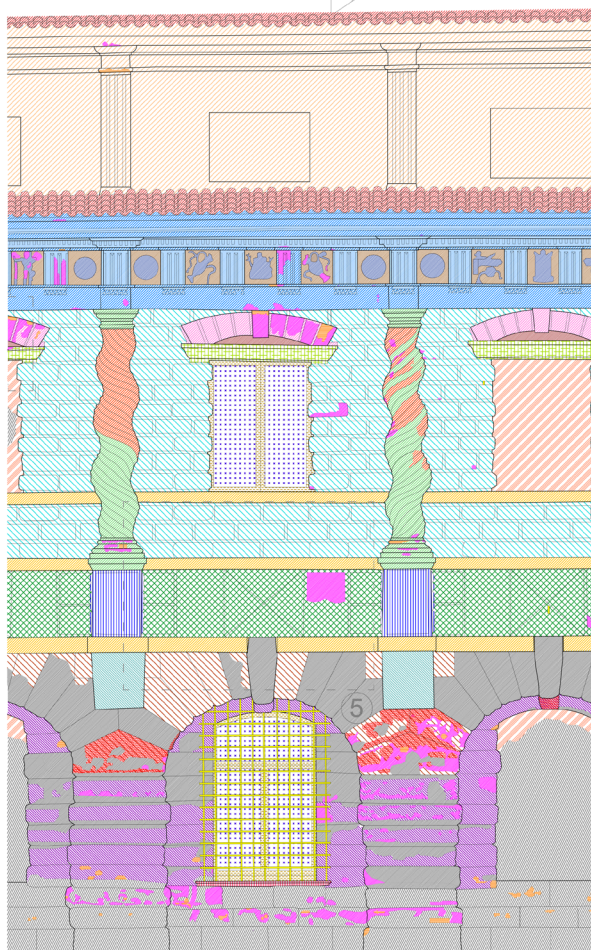
su zone conservanti calci storiche. Questi materiali, oltre a favorire la caduta a terra di porzioni di modellato in maniera compatta, implementano in modo esponenziale i danni legati all'acqua.

Deciso il piano progettuale, si è proposto un piano di diagnostica¹⁰ teso alla caratterizzazione dei materiali costitutivi, dei consolidanti, e al loro comportamento in presenza di acqua¹¹. Dalle analisi ci si attende di recuperare, in particolare, informazioni per preparare malte di restauro da utilizzare nelle fasi di sostituzione o integrazione, verificando la modalità del metodo applicativo, la durabilità nel tempo sulla base di test di invecchiamento, l'efficacia, la compatibilità degli stessi in presenza di sali (con cui si dovrà convivere). L'organizzazione del progetto alle superfici ha assecondato anche la scelta di operare in modo unitario sui singoli fronti, nel rispetto delle fasi costruttive originarie documentate.

Contrariamente a quanto eseguito nei cantieri precedenti, ed in base ad altre esperienze compiute dalla Soprintendenza competente in fabbriche mantovane, si è esclusa l'esecuzione di puliture a umido anche sotto forma di nebulizzazione, perché l'umidità ambientale (confermata dai dati locali di monitoraggio e continuamente aggiornati all'interno dei *database* del modello HBIM) è già di tale livello da risultare non opportuno implementarla ulteriormente con un innaffio prolungato che, per quanto monitorato, andrebbe a mettere in ricircolo nuovamente i sali. Le uniche azioni ad umido saranno svolte con spugne imbevute di acqua e poi strizzate in modo da non gocciolare, oppure nell'esecuzione di impacchi.

Altro aspetto del progetto riguarda l'allontanamento delle acque dalla corte, garanzia dell'efficacia delle soluzioni conservative previste. Purtroppo, si è sempre rinunciato ad inserire un sistema di raccolta delle acque a causa dell'interferenza estetica sulle facciate che canali

10 Esempi di murature costituenti il supporto dei bugnati nel Cortile della Cavallerizza.



LEGENDA DEI MATERIALI

Materiali lapidei naturali

pietra bianca

Materiali lapidei artificiali

intonaco 1
intonaco di finitura a calce con tracce dipinte
policrome a calce

intonaco 2
intonaco di calce modellato a fasce lisce
alternate a fasce con decorazione a rilievo a
motivi vegetali (lesene tortili)

intonaco 3
intonaco di calce modellato a fasce lisce
(integrazioni delle lesene tortili, restauro 1985)

intonaco 4
intonaco di calce sagomato liscio con tinta
chiara (fasce marcapiano)

intonaco 5 A
intonaco di calce liscio
(cornici orizzontali della trabeazione)

intonaco 5 B
intonaco di calce liscio con tracce di colore
(sfondo delle metope)

intonaco 5 I
intonaco e rappezzi a base cementizia,
ricostruzioni incompatibili con il supporto

arriccio/rinzaffo di calce

rappezzi in malta di calce

tinta di finitura di colore rosso (tracce)

stucco 5 C
decorazioni a stucco
(figure delle metope)

intonaco 5 D
intonaco di calce modellato con decorazioni a
bassorilievo (triglifi e cornici)

intonaco 6
intonaco di calce modellato con velatura bianca
(piattabande delle finestre)

intonaco 7
intonaco di calce liscio sagomato con rilievi
lineari (paraste, capitelli e cornici del sopralzo)

intonaco 8
intonaco di calce fratazzato
(intradosso piattabande)

intonaco 9
intonaco di calce sagomato liscio
(architravi delle finestre)

intonaco 10
intonaco di calce punteggiato da piccoli fori
distribuiti irregolarmente

Murature

muratura in mattoni pieni con giunti in malta di
calce

muratura in mattoni pieni con giunti in malta
cementizia

Coperture

coppi in laterizio

intonaco 11
intonaco di calce modellato a bugnato rustico a
cornici rettangolari con giunti poco profondi
(pedriti)

intonaco 12 A
intonaco di calce modellato a bugnato rustico a
cornici irregolari con tracce di colore e giunti
poco profondi (archi)

intonaco 13
intonaco di calce modellato con lievi strolature
racchiuse da un nastro liscio
(mensole sotto le lesene tortili)

intonaco 14
intonaco di calce modellato a finte ciottoli
(pedistallo delle lesene tortili)

intonaco 15
intonaco di calce modellato a bugne piccole
aggettanti con finitura strolata e giunti profondi
(secondo ordine)

intonaco 16
intonaco di calce modellato a bugnato rustico
con incisioni irregolari

intonaco 50
intonaco a base cementizia (integrazioni di
restauro)

legno

ferro

impianto tecnologico/tracce di impianto

e pluviali potevano generare. Per quanto comprensibile, è sembrato inappropriato assecondare ancora questa scelta. Attualmente, l'acqua proveniente dalle coperture dei fabbricati intorno alla corte scorre sopra i coppi e cade dilavando le superfici. L'acqua ristagna all'interno del prato centrale fino a disperdersi lentamente nel terreno o evaporare.

Il progetto di controllo delle acque piovane è partito dalla conoscenza dei percorsi dei numerosi canali presenti al di sotto dei locali di Palazzo Ducale e negli spazi aperti intorno, soprattutto nella zona compresa tra il Palazzo e il lago. Nella costruzione della Corte della Cavallerizza si era consapevoli che l'acqua poteva creare problemi,

tanto da individuare *escamotage* sotterranei utili per drenare le aree in caso di allagamento o pioggia. Purtroppo, il ripristino di tali condotte, abbandonate da tempo, non è prevedibile nell'immediato.

La proposta avanzata per la regolamentazione delle acque è sicuramente zoppa, ma vuole porre l'attenzione su un futuro ripristino delle vecchie soluzioni dismesse. All'interno della corte è stata prevista la collocazione di canali di gronda in corrispondenza dei sopralzi appartenenti all'ultima fase costruttiva. Dai doccioni, l'acqua è raccolta all'interno di tombini collegati ad un sistema di drenaggio, eseguito lungo tutti i lati della corte, con lo scopo di convogliare le acque piovane

11
Rilievo dei materiali della
facciata Rustica.

ne e/o di risalita esternamente alla corte fino ad intercettare i vecchi canali o, temporaneamente, la distribuzione fognaria.

Conclusioni

Palazzo Ducale è un complesso molto studiato, ma buona parte delle informazioni raccolte da operatori e studiosi, che per varie ragioni hanno avuto modo di occuparsene, non sono state condivise e messe in relazione reciproca¹².

In particolare, gli esiti delle ricerche storiche, le indagini ambientali, i contenuti dei progetti e le problematiche rilevate nei processi di gestione del manufatto (come ad esempio la complessità dell'organizzazione di eventi e il controllo degli elevati accessi di turisti in visita al museo, oppure tutta l'impiantistica, l'antincendio, la distribuzione elettrica ed idraulica, ecc.) appartengono ad ambiti disciplinari diversi che, seppur tutti collegati con la materialità dell'architettura oggetto (contenitore) di tutte queste ed altre attività, non sono mai condivisi¹³. Ogni settore lavora in modo indipendente causando delle fragilità gestionali di cui il complesso monumentale subisce le conseguenze.

La collaborazione in corso tra Palazzo Ducale e Politecnico di Milano vuole essere l'occasione per mettere a sistema i dati (di diversa natura) e relazionarli reciprocamente in un luogo «virtuale», con l'obiettivo di facilitare la conservazione della fabbrica anche negli aspetti qui illustrati, riguardanti le superfici ad intonaco.

Questa particolare sperimentazione ha reso necessario elaborare modelli HBIM condivisi, declinati in modo da rispondere alle necessità di attori direttamente e/o indirettamente attivi nel progetto ma condizionanti le scelte esecutive.

La fase successiva sarà quella di mettere a sistema, all'interno del modello HBIM, la documentazione del cantiere al fine di poter attivare il processo di conservazione programmata, che tenga conto delle numerose interferenze possibili (positive o negative), proponendo azioni di controllo e monitoraggio correttamente governate e condivise.

Si ringraziano il direttore del Complesso Museale di Palazzo Ducale a Mantova, e l'arch. Antonio Mazzeri, architetto del Complesso Museale, per la disponibilità e la collaborazione dimostrate nell'ambito della ricerca.

¹ A. Paolucci, *I Gonzaga e l'Antico: Percorso di Palazzo Ducale a Mantova*, edizioni Fratelli Palombi, Roma 1988; P. N. Pagliara, *Materiali, tecniche e strutture in architetture del primo cinquecento*, in A. Bruschi (a cura di), *Storia dell'architettura italiana. Il primo Cinquecento*, Electa, Milano 2002.

² R. Berzaghi, *Il Palazzo Ducale di Mantova*, Electa, Milano 1992, p. 7.

³ S. L'Occaso, *Il Palazzo Ducale di Mantova*, Electa, Milano 2002, p. 14.

⁴ C. Togliani, *L'architettura da Fancelli a Giulio Romano*, in G. Algeri (a cura di), *Il Palazzo Ducale di Mantova*, Sometti, Mantova 2003, p. 14.

⁵ G. Algeri (a cura di), *Il Palazzo Ducale di Mantova*, Sometti, Mantova 2003.

⁶ C. Cottafavi, «Cronaca delle Belle Arti. R. Palazzo Ducale di Mantova. Appartamento dell'Estivale. Loggia dei Frutti», *Bollettino d'Arte Ministero Beni Culturali e Ambientali*, 1926-27, pp. 421-428, 136-142; C. Cottafavi, «Palazzo Ducale di Mantova. La Galleria dei Marmi e la Loggia di Eleonora Medici», *Bollettino d'Arte Ministero Beni Culturali e Ambientali*, 1933-34, pp. 134-141.

⁷ A. Barbacci, «Il Cortile della Cavallerizza nel Palazzo Ducale di Mantova», *Palladio*, III (2), 1939, pp. 63-76.

⁸ A. Adami, S. Della Torre, L. Fregonese, A. Mazzeri, B. Scala, A. Spezzoni, *Conoscenza e gestione del patrimonio costruito storico. Le nuove frontiere del BIM*, in *Atti del XXXIII Convegno di Studi Scienza e Beni Culturali*, Arcadia Ricerche, Venezia 2017, pp. 255-265.

⁹ S. Della Torre, *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico. Linee guida per il piano di manutenzione e consuntivo scientifico*, Guerini e Associati, Milano 2003.

¹⁰ L. Apollonia, T. Cavalieri, D. Lattanzi, A. Mazzeri, B. Scala, *Il cortile delle Cavallerizza in Palazzo Ducale di Mantova: Per un rinnovato rapporto tra investimento nella conoscenza e gestione della fabbrica* in *Atti del XVI Congresso Nazionale IGIC: Lo Stato dell'Arte*, Castello del Buonconsiglio, Trento, 25-27 Ottobre 2018, pp. 703-710.

¹¹ P. Bensi, *Alcune considerazioni sul controllo delle operazioni di restauro e sulla conservazione programmata dei dipinti murali*, in S. Della Torre (a cura di), *Metodi e strumenti per la prevenzione e la manutenzione*, Atti del Convegno *Preventive and Planned Conservation*, Monza-Mantova, 5-9 Maggio 2014, Nardini, Firenze, 2016, pp. 91-99.

¹² A. Adami, A. Mazzeri, L. Fregonese, D. Lattanzi, O. Rossignoli, B. Scala, «A Multidisciplinary Conservation Project for the Cavallerizza Courtyard, Palazzo Ducale di Mantova», *HERITAGE*, 2, 2019, pp. 1441-1459.

¹³ S. Della Torre, *La strategia della conservazione programmata: dalla progettazione delle attività alla valutazione degli impatti*, in S. Della Torre (a cura di), *Atti del Convegno Preventive and Planned Conservation*, Monza-Mantova, 5-9 Maggio 2014, Nardini, Firenze 2016.

Andrea Adami è laureato in Architettura allo IUAV di Venezia. Nel 2009 consegue con lode il titolo di Dottore di Ricerca in Geodesia e Geomatica al Politecnico di Milano. Dal 2003 al 2012 collabora alle attività del Laboratorio di Fotogrammetria Circe dello IUAV di Venezia, e dal 2012 al 2015 è assegnista di ricerca presso il CNR ITABC, dove lavora nell'ambito dei musei virtuali. Dal 2005 è responsabile di diversi corsi universitari nell'ambito del rilievo architettonico, della topografia, della fotogrammetria e delle tecniche della rappresentazione. Dal 2015 è ricercatore presso il Dipartimento ABC del Politecnico di Milano, dove è vincitore del bando di ricerca nazionale SIR2014. Ha pubblicato ampiamente e partecipato a numerosi convegni, presentando lavori sui temi del rilievo, della rappresentazione architettonica, della cartografia storica e del HBIM. È codirettore del Master dal titolo «HBIM per il costruito. Dalla digitalizzazione alla gestione». [andrea.adami@polimi.it]

Fabrizio Banfi è laureato in Architettura presso il Politecnico di Milano. Dal 2013 svolge attività di ricerca nel campo del *Building Information Modelling*, *Virtual Reality* e nella digitalizzazione del patrimonio costruito. Nel 2016, *Social Sciences and Humanities Research Council* (SSHRC) finanzia la sua attività di ricerca tramite il programma di formazione *New Paradigm/New Tools for Architectural Heritage* presso i centri di ricerca Carleton Immersive Media Studio (CIMS) Lab-Carleton University a Ottawa e *Autodesk Research* Toronto, Ontario (Canada). Dopo un'esperienza internazionale, nel 2018 vince il premio AUTeC per la migliore Tesi di Dottorato in Geomatica. Autore di più di 50 pubblicazioni nazionali e internazionali, dal 2019 è professore a contratto del Politecnico di Milano e continua la sua attività di ricerca presso il laboratorio di ricerca Gicaruso del Dipartimento ABC. [fabrizio.banfi@polimi.it]

Luigi Barazzetti si laurea in Ingegneria Civile nel 2004 e consegue la laurea specialistica in Ingegneria Civile con indirizzo *Rilevamento e Controllo* nel 2006. Nel 2011 consegue con lode il titolo di Dottore di Ricerca in Geomatica e Infrastrutture al Politecnico di Milano.

Le sue attività di ricerca riguardano fotogrammetria terrestre (orientamento automatico di blocchi di immagini digitali con tecniche fotogrammetriche e di visione artificiale, calibrazione di camere, correlazione di immagini, modellazione 3D), fotogrammetria aerea, creazione di true-ortofoto con dati LiDAR, filtraggio di dati ripresi con laser aviotrasportato fotogrammetria da satellite (registrazione di sequenze di immagini satellitari multi-temporali, procedure di normalizzazione atmosferica), *vision metrology* (sviluppo e implementazione di algoritmi per la misura delle deformazioni e degli spostamenti). [luigi.barazzetti@polimi.it]

Nazarena Bruno, laureata in Architettura nel 2014, nel 2018 consegue il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Civile e Architettura (curriculum Geomatica) presso l'Università degli Studi di Parma. Dal 2018 al 2019 è assegnista di ricerca presso il Politecnico di Milano (Dipartimento ABC), nell'ambito di un progetto di ricerca nazionale SIR relativo all'utilizzo del *Building Information Modelling* nel campo dei beni culturali, con particolare attenzione alla modellazione informativa. Nel 2019 svolge un periodo di ricerca come Visiting Research Associate presso l'Università di Newcastle in Australia, e da dicembre dello stesso anno è ricercatrice a tempo determinato (RTD A – SSD ICAR/06) presso il Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Parma, dove è anche docente titolare del corso Laboratorio di BIM. Le sue principali aree di ricerca includono HBIM e HGIS, *Structure from Motion* e relative applicazioni in campo architettonico, ambientale e archeologico, rilievi fotogrammetrici e laser scanner, tecnologie multimediali per la fruizione e la valorizzazione dei beni culturali. [nazarena.bruno@unipr.it]

Stefano Cantoni è laureato con lode nel 2018 in *Civil and Environmental Engineering* all'Università degli Studi di Brescia, con una tesi dal titolo *Surveying with Heron and 360° camera: from acquisition to diffusion*. Dopo la laurea collabora con la società Gexcel, dove ha la possibilità di conoscere e sperimentare le più innovative tecnologie di rilievo *Mobile Mapping SLAM Based*. Nel 2019 è assegnista

di ricerca presso il DICATAM di Brescia, con un progetto dal titolo «Applicazione di tecniche IMMS (*Indoor Mobile Mapping Systems*) al monitoraggio dello stato avanzamento di cantiere» (responsabile scientifico: prof. Giorgio Vassena). È iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Brescia, e attualmente lavora presso un'azienda che si occupa di progettazione e realizzazione di soluzioni abitative a contenuto tecnologico. [stefano.cantoni@unibs.it]

Francesco Fassi si laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio al Politecnico di Milano nel 2001. Ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Geodesia e Geomatica con lode con una tesi dal titolo «Integrazione di tecnologie tradizionali e innovative per il rilievo e la modellazione dei beni culturali». Dal 2003 ha dedicato la sua ricerca alle tecniche e metodologie di rilievo nel campo dei Beni Culturali. Attualmente è professore associato al Politecnico di Milano e tiene corsi di Tecniche Avanzate di Rilievo, Topografia e Fotogrammetria. Insieme alla Prof. Cristiana Achille, è coordinatore scientifico di *3DSurveyGroup* e membro del laboratorio He. Su.Tech. presso il Polo Territoriale di Mantova. È autore di più di 100 pubblicazioni nel campo del rilievo, del BIM/HBIM e della misura in generale. È membro di ICOMOS Italia, membro del Comitato esecutivo del CIPA (Comitato Internazionale di Fotogrammetria Architettonica), per cui è *co-chair* per il gruppo di lavoro «Tecnologia», oltre a partecipare attivamente al *Working-group 8* della Commissione 2 di Fotogrammetria dell'ISPRS (Società Internazionale di Fotogrammetria e Telerilevamento). [francesco.fassi@polimi.it]

Eva Savina Malinverni, laureata in Architettura al Politecnico di Milano, è Dottore di Ricerca in Cartografia e Topografia. La sua ricerca si applica a diversi campi della Geomatica rivolgendosi sia ai Beni Culturali che al Territorio: dal telerilevamento alla cartografia numerica e tematica, con lo sviluppo di tecniche automatiche di analisi e classificazione; dalla fotogrammetria digitale aerea a quella *close range*, per ottenere rappresentazioni grafiche, modelli tridimensionali realistici e immagini ortorettilizzate; dall'utilizzo di strumenti digi-

tali per il posizionamento GNSS all'acquisizione lidar per descrizioni con livelli di dettaglio sempre più complessi, fino alla gestione delle documentazione acquisita nei GIS/(H)BIM. È autore di oltre 180 pubblicazioni del settore, in gran parte su riviste riconosciute a livello internazionale, 60 presenti in *Scopus* con un totale di 414 citazioni e *H-index* 10. Fa parte del team di ricerca del CNR-ISPC (ex-ITABC), a cui è associata dal 2019, con cui si occupa di rilievi su aree archeologiche come Chan Chan (sito UNESCO in Perù) o la terra di Ninive nel Kurdistan iracheno. È stata membro del *Management Committee* nel progetto COST «Cyber-parks» e del WG1 dello stesso, dove ha coniugato la sua figura di geomatico con le moderne tecniche dell'ICT. Attualmente è membro della COST Action «*Archaeological Practices and Knowledge Work in the Digital Environment*», che si occupa di divulgare i dati archeologici, e della COST Action «*Underground Built Heritage as catalyzer for Community Valorisation*». Partecipa a diversi convegni e seminari organizzati da ISPRS, CIPA, IGARSS-GRSS, ICA, ICC e a EARSel *special working groups*. [e.s.malinverni@staff.univpm.it]

Francesca Matrone, laureata in Architettura nel 2014, si è specializzata nel campo dei Beni Culturali conseguendo il diploma post-lauream alla Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio nel 2017, con una tesi sul rilevamento metrico 3D e utilizzo dei modelli HBIM per la conservazione e manutenzione programmata del patrimonio architettonico. È ora dottoranda al Politecnico di Torino, presso il Laboratorio di Geomatica, dove svolge attività di ricerca sul riconoscimento automatico di elementi architettonici da nuvole di punti, costruzione di modelli HBIM e integrazione in ambiente GIS. Ha preso parte a progetti europei e internazionali sulla salvaguardia dei Beni Culturali. Ha inoltre svolto un periodo come visiting researcher presso l'*Institut National des Sciences Appliquées* di Strasburgo (2019) e presso il *Computer Science and Artificial Intelligence Lab* (CSAIL) del *Massachusetts Institute of Technology* di Boston (2020). [francesca.matrone@polito.it]

Christian Morbidoni svolge la sua attività di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Informatica dell'Università Politecnica delle Marche, Ancona, dove ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica nel 2003 ed il Dottorato di Ricerca nel 2006, e dove è titolare del corso di Elementi di Informatica dal 2013. I suoi ambiti di ricerca includono *semantic web*, *knowledge representation*, *information extraction*, *recommendation systems*, *machine learning* and *deep learning*. È stato *work package leader* nell'ambito di diversi progetti europei nell'area *cultural heritage* e *digital humanities*, occupandosi di progettazione di ontologie e di applicazioni per l'annotazione semantica di contenuti multimediali. Attualmente si interessa di *machine learning* e *deep learning* applicati in ambito biomedicale, *cyber security* e *cultural heritage*. [christian.morbidoni@gmail.com]

Lorenza Ori si è laureata in Ingegneria Edile-Architettura all'Università di Pisa nel 2017 ed è iscritta all'Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara. Da sempre appassionata alla progettazione architettonica, all'ingegneria ed in particolare alla progettazione con metodologia BIM, ha deciso di approfondire la tematica sia in ambito accademico, studiandone potenzialità e criticità applicate al progetto di restauro, sia cercando di maturare esperienze applicative in campo lavorativo, collaborando attualmente con la società di architettura ed ingegneria mantovana COPRAT. [lorenza.ori@hotmail.it]

Roberto Pierdicca è laureato in Ingegneria Edile-Architettura ed è Dottore di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione. Attualmente è post-doc fellow presso il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e dell'Informazione e docente a contratto di Geomatica per la gestione del territorio (ICAR/06) presso l'Università Politecnica delle Marche. Svolge attività di ricerca multidisciplinare in diversi domini di ricerca, tra cui *Digital Cultural Heritage* e *Virtual Archeology*, *remote sensing*, fotogrammetria digitale, *space sensing* e Intelligenza artificiale applicata alla Geomatica. È autore di oltre 70 pubblicazioni tra *book-chapters*, riviste e atti di conferenze internazionali (*h-index* =12). Le sue ricerche sono state sviluppate soprattutto all'in-

terno di progetti nazionali (Archeogate, Ducale, Distretto Culturale Evoluto) e internazionali (Missione italiana in Perù e Giordania, COST Actions *Cyberparks* e *Underground for Values*, *Erasmus Plus RailToLand*) e convenzioni di ricerca con aziende per il trasferimento tecnologico. Co-Fondatore dello *spin-off* EMOJ, svolge attività di revisore ed è parte del comitato editoriale di diverse riviste scientifiche internazionali. È membro di SIFET e ICOMOS Italia. [r.pierdicca@univpm.it]

Mattia Previtali si è laureato con lode in Ingegneria Civile, ed è Dottore di Ricerca in Ingegneria Ambientale e delle Infrastrutture (profilo Geomatica) al Politecnico di Milano. Attualmente è Ricercatore a.t.d. (art. 24 comma 3-a L. 240/10) SSD ICAR/06 presso il Politecnico di Milano Dipartimento di architettura, ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito. I principali settori di ricerca includono: Sistemi Informativi Geografici, rilievo di beni architettonici e dell'ambiente costruito, laser scanning, interazione BIM/GIS. È autore di oltre 100 articoli in riviste scientifiche nazionali ed internazionali ed in atti di convegno, e partecipa a progetti di ricerca a livello nazionale ed internazionale. [mattia.previtali@polimi.it]

Ramona Quattrini, laureata in Ingegneria Edile-Architettura e Dottore di Ricerca, attualmente è Ricercatrice (L.240/2010 b) nel settore disciplinare Disegno e Rilievo (ICAR/17). La sua attività nel campo del *Digital Cultural Heritage* si applica a disegno e rilievo come mediazione grafica e infografica, modellazione 3D, tecniche di rappresentazione dinamiche e interattive, restituzioni e navigazioni VR e AR, fotorealistiche e non, analisi e monitoraggio del patrimonio architettonico sia moderno che storico, attraverso l'uso degli HBIM. È autrice di più di 80 pubblicazioni, revisore e co-autore di diversi articoli su riviste scientifiche internazionali (*h-index* =8) e riviste classe A. Ha avuto ruoli di responsabilità tecnico-scientifica in Convegni internazionali e progetti di ricerca su base competitiva, tra cui il progetto «ARCHEOGATE – Portale del Sistema Archeologico delle Marche» (2016-2017, con P. Clini), REMEMBER (2019-2021), IT-HR (delegata Steering

Committee), RailToLand (2019-2022) Erasmus KA203 (resp. Univpm). [r.quattrini@univpm.it]

Antonio Salzano nel 2011 consegue la Laurea in Ingegneria Strutturale e Geotecnica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Nel 2015 diventa Dottore di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e dei Materiali con una tesi in «Metodologie BIM per la progettazione integrata di interventi di riqualificazione e rinforzo strutturale orientati alla sostenibilità ambientale». Attualmente è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università di Napoli Federico II, nell'ambito disciplinare Tecnica delle costruzioni (SSD ICAR 09); il suo programma di ricerca è dedicato al tema «Utilizzo di metodologie BIM per l'ingegneria strutturale». È membro del consiglio scientifico del «Master BIM e progettazione integrata sostenibile» presso lo stesso Ateneo, docente presso il Master di primo livello in BIM *Building Information Modeling* presso l'Università di Roma La Sapienza. Nel 2017 è stato docente presso la *International SIIV Summer School Infrastructure – Building Information Modeling* (I-BIM) a Napoli. Coordinatore della Commissione Speciale BIM presso l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli, è anche Amministratore unico di *Future Environmental Design* s.r.l.s., *spin-off* accademico dell'Università di Napoli Federico II, specializzata nella fornitura di servizi di progettazione integrata BIM-based. [antonio.salzano@unina.it]

Barbara Scala, laureata in Architettura con una tesi in Teoria del Restauro, si è poi specializzata in Conservazione dei Monumenti presso il Politecnico di Milano, iniziando il percorso di approfondimento nell'ambito della conservazione programmata. Lo stesso tema è stato sviluppato anche nello svolgimento della Tesi di Dottorato, grazie alla quale ha avuto modo di testare operativamente l'attività di Conservazione programmata applicata al circuito di Castelli della Valtènesi (BS). È stata assegnista di ricerca presso il Polo Territoriale di Mantova del Politecnico di Milano, dove ha contribuito all'applicazione dei sistemi HBIM nell'ambito di

attività di collaborazione con la Diocesi e Palazzo Ducale di Mantova. Dal 2019 è Ricercatore presso l'Università degli Studi di Brescia, dove prosegue l'approfondimento della ricerca dedicata al rapporto tra HBIM e conservazione. [barbara.scala@unibs.it]

Raffaella Stano si è laureata in Ingegneria Edile nel 2017 al Politecnico di Torino, con una tesi dedicata alla «Acquisizione multi-sensore del Chiostro di San Nicola a Tolentino per il modello parametrico» ed è iscritta all'Ordine degli Ingegneri di Torino. Attualmente è libero professionista e collabora con diversi studi ingegneristici che svolgono rilievi nel campo architettonico e topografico per la restituzione di elaborati vettoriali e fotografici bi-tridimensionali finalizzati ad attività di studio, restauro e progettazione. [raffaellastano@gmail.com]

Cinzia Tommasi è assegnista di ricerca presso il Dipartimento ABC del Politecnico di Milano. Nel Marzo 2020 ha conseguito il Dottorato di Ricerca con lode in Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito con la tesi «Interdisciplinary digital processes for the valorisation of Cultural Heritage. The UNESCO Sacri Monti application field». Il punto di partenza della sua ricerca è stato l'uso dei processi BIM applicati ai Beni Culturali, concentrandosi in particolare sulla elaborazione dei dati di rilievo e l'interoperabilità tra diverse piattaforme. Attualmente il suo lavoro è focalizzato sui processi di valorizzazione e fruizione dei Beni Culturali attraverso la loro digitalizzazione e mediazione scientifica per diversi tipi di pubblico. Collabora a diversi progetti nazionali e internazionali. [cinzia.tommasi@polimi.it]

La Geomatica — l'insieme dei metodi e degli strumenti ideati per l'acquisizione, l'analisi e la gestione automatizzata dei dati relativi alla misurazione del territorio — così come i sistemi BIM — *Building Information Modelling*, dedicati alla rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto — sono oggi ampiamente integrati nei processi di documentazione e progettazione per i Beni Culturali.

Il volume intende indagare le possibili sinergie tra queste discipline, in particolare nella loro applicazione alle pratiche di tutela e valorizzazione del patrimonio costruito — da cui l'espressione HBIM, *Historic Building Information Modelling*. Le più recenti opportunità in questo ambito sono qui delineate attraverso il confronto tra le diverse esperienze di giovani ricercatori italiani, impegnati nell'esplorazione di nuovi strumenti e sistemi a supporto della progettazione e della gestione delle architetture di interesse storico o monumentale.



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



POLITECNICO
DI MILANO

UNESCO Chair in Architectural Preservation
and Planning in World Heritage Cities
Politecnico di Milano, Mantova Campus